

Évaluation de la biomasse forestière et du stock de carbone dans le PNR du Massif des Bauges :

Influence des caractéristiques forestières/topographiques et du statut foncier

UE IMOTEP



Etudiantes :

Aku-Demawu AWUNO, GEOÏDES

Jeanet FILS, GEOSPHERES

Professeur : Jean-Matthieu Monnet

Février 2025

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	1
1.1. Problématique.....	1
1.2. Objectifs.....	1
2. Présentation du PNR du massif des Bauges.....	1
3. Facteurs susceptibles d'influencer la biomasse.....	2
3.1. Les facteurs intrinsèques.....	2
3.2. Les facteurs environnementaux.....	3
3.3. Les perturbations.....	3
4. Données utilisées.....	3
5. Méthodologie.....	3
5.1. Préparation des données.....	3
5.2. Calcul des paramètres forestiers et topographiques.....	4
5.3. Calcul de la biomasse et du stock de carbone.....	4
5.4. Analyse statistique.....	5
- Analyse descriptive.....	5
- Tests statistiques.....	5
- Modélisation statistique.....	5
5.5. Cartographie.....	5
6. Résultats.....	5
6.1. Caractéristiques forestières et topographiques.....	6
6.2. Biomasse et stock de carbone.....	6
6.3. Influence des facteurs sur la biomasse.....	6
7. Discussion.....	10
8. Conclusion.....	10
Bibliographie	
Contribution des auteurs	

1. Introduction

Les services écosystémiques désignent les bénéfices que les écosystèmes apportent aux sociétés humaines sur les plans écologique, économique et socioculturel. Plus particulièrement, les écosystèmes forestiers fournissent de nombreux services dont la constitution d'espaces de loisirs et de fraîcheur, le fonctionnement des processus hydrologiques, la production de bois-énergie, la séquestration de carbone, etc. Cette dernière joue un rôle fondamental dans la régulation du climat. En effet, les forêts constituent des puits de carbone essentiels à l'atténuation du changement climatique en capturant et en stockant le dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂) à la fois dans la biomasse végétale et au niveau des sols (Bainville, 2012).

La capacité de stockage du carbone forestier dépend toutefois de divers facteurs environnementaux et des caractéristiques intrinsèques de la forêt. En France métropolitaine, les forêts couvrent environ 30% de la superficie du territoire. Cependant, elles sont très diversifiées en raison des conditions bioclimatiques variées et des différences dans les pratiques de gestion (Cordonnier *et al.*, 2017).

Cette étude porte sur l'évaluation du stockage de carbone du Parc Naturel Régional (PNR) du massif de Bauges à partir de la biomasse forestière. Elle vise à caractériser le PNR et surtout à construire un modèle de calcul de la biomasse et du carbone forestier.

1.1.Problématique

Dans quelle mesure les caractéristiques forestières et les conditions environnementales influencent-elles la biomasse et le stock de carbone dans les forêts du Parc Naturel Régional du Massif des Bauges ?

1.2.Objectifs

Techniquement, cette étude vise la manipulation des données d'inventaire du projet PROTEST en passant par le traitement des données, l'analyse spatiale, l'analyse statistique et la visualisation. Trois objectifs en découlent :

- a) Estimer la biomasse individuelle et totale des arbres
- b) Dédire la séquestration de carbone du peuplement
- c) Déterminer les facteurs qui influencent la biomasse et la séquestration de carbone
- d) Modéliser la biomasse/le stock de carbone

2. Présentation du PNR du massif des Bauges

Le massif des Bauges est un territoire montagneux calcaire des Préalpes françaises du nord, plus précisément dans le sud-est de la France, en région Auvergne-Rhône-Alpes. Il est prédominé par un climat de montagne, climat typique des Alpes du Nord qui se caractérise

par des hivers froids et des étés modérément chauds. Situé à cheval sur les départements de la Savoie et de la Haute Savoie, le massif culmine à plus de 2 200 mètres d'altitude. On y retrouve le PNR du massif des Bauges qui est reconnu par le label mondial Géoparc de l'UNESCO depuis 2011 pour sa forte valeur patrimoniale et paysagère. Abritant une grande diversité biologique, le PNR détient environ 51 000 ha de forêts (Figure 1), soit 60% de sa superficie totale (Bellom, 2019 ; PNR du Massif des Bauges, 2025) .

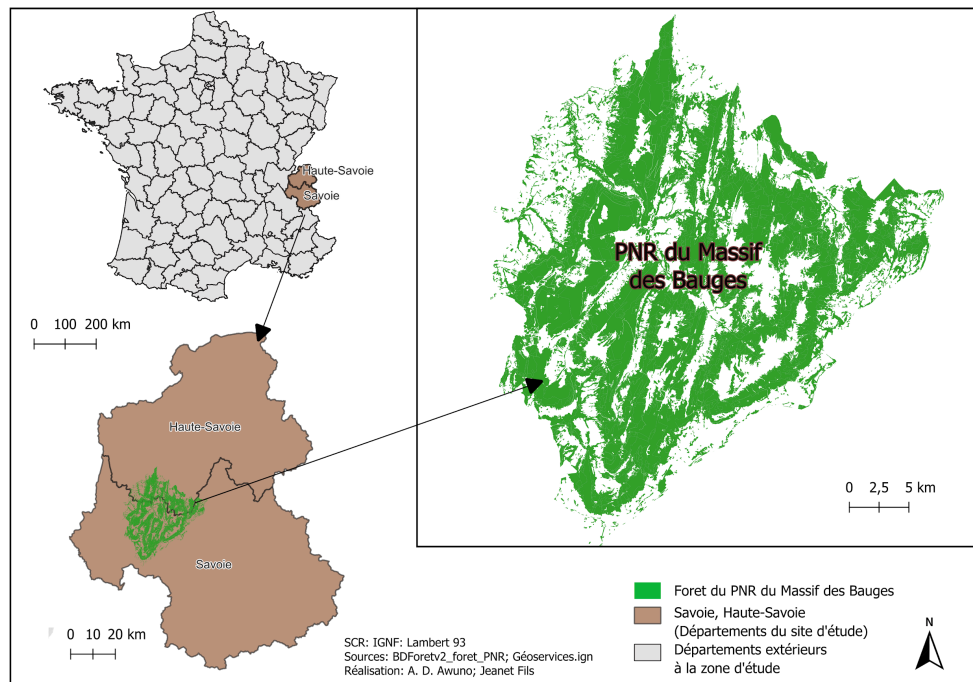


Figure 1: Localisation du Parc Naturel Régional du Massif des Bauges

Le Parc Naturel Régional du Massif des Bauges est souvent le terrain d'étude pour explorer et quantifier les services écosystémiques spécialement la fonction de séquestration et flux de carbone. À titre d'exemple, nous avons les travaux de Nzeta Kenne V. (2019) qui a élaboré des méthodes de calcul des différents services écosystémiques à partir d'indicateurs forestiers susceptibles de réagir à une dynamique sylvicole. En outre, Djaouga *et al.*, (2021) propose une méthodologie de cartographie de la biomasse forestière et d'évaluation du carbone séquestré en utilisant des techniques de télédétection et des inventaires forestiers.

3. Facteurs susceptibles d'influencer la biomasse

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 1996), la biomasse forestière dépend d'une multitude de facteurs interdépendants pouvant être regroupés en trois grandes catégories : les facteurs intrinsèques c'est-à-dire liés à la forêt elle-même, les facteurs environnementaux liés au milieu et les facteurs externes dits perturbations.

3.1. Les facteurs intrinsèques

Les facteurs intrinsèques renvoient à la composition des espèces et à la structure du peuplement. En réalité, le taux de croissance et la densité de bois diffèrent d'une espèce à une autre ou encore en fonction de l'âge des individus. À cette catégorie, on peut ajouter la gestion forestière car les pratiques de gestion (éclaircies, coupes, reboisement) et les objectifs sylvicoles peuvent modifier la structure et la composition des peuplements et par conséquent la biomasse.

3.2. Les facteurs environnementaux

On y retrouve les caractéristiques édaphiques et topographiques du site. En effet, la fertilité, la texture et la profondeur du sol influencent la teneur en matière organique et donc la biomasse. Aussi, l'altitude, la pente et l'exposition jouent-ils un rôle clé dans la répartition des arbres et la productivité des espèces forestières. Il faut aussi noter le climat car la température, les précipitations et l'ensoleillement modifient la croissance des arbres. Par exemple, à haute altitude, les basses températures ralentissent la croissance des arbres et diminuent la biomasse forestière tandis que dans les basses altitudes (environ < 500 m), les températures sont plus douces, favorisant une croissance plus rapide et un stockage de carbone plus important. Pareillement, à faible altitude, on trouve des forêts mixtes feuillues et résineuses qui stockent plus de carbone alors qu'à haute altitude, les espèces forestières sont plus clairsemées, avec des résineux adaptés au climat froid (ex. sapins, épicéas). La pente, quant à elle, influence l'accumulation de biomasse et le stockage du carbone à cause de l'accessibilité et l'exploitation forestière.

3.3. Les perturbations

Les perturbations renvoient aux incendies et aux maladies mais aussi aux activités humaines comme la déforestation et la fragmentation des habitats. Ces événements peuvent réduire significativement la biomasse.

4. Données utilisées

Cette étude a mobilisé plusieurs sources de données du territoire du PNR du Massif des Bauges. Il s'agit d'une part de la base de données de relevés forestiers développée dans le cadre du projet Prospective Territoriale Spatialisée (PROTEST). Il s'agit principalement de mesures de diamètre ainsi que des informations sur l'état des arbres, leur essence et le type de propriété de la parcelle forestière. Les données caractéristiques des essences ont aussi été utilisées. D'autre part, des données géographiques ont également été utilisées dont les coordonnées des placettes, le modèle numérique de terrain (MNT) de la zone et la base de données forestière fournie par l'IGN et les données parcellaires de l'ONF sur les types de forêts.

5. Méthodologie

Pour estimer la séquestration de carbone et pour analyser les relations entre les différentes variables, plusieurs étapes ont été nécessaires :

5.1. Préparation des données

Les données de mesures par placette ont été nettoyées et mises en forme avec le logiciel R. Pour cela, plusieurs actions ont été nécessaires :

- vérifier si le jeu de données contient des valeurs manquantes;
- enlever les colonnes moins pertinentes pour l'étude comme le numéro et l'Id des arbres, l'azimut des arbres;
- ajouter une colonne essence de deux catégories (feuillus et résineux) pour faciliter les traitements;
- convertir la colonne essence et état de l'arbre en facteurs à deux modalités;
- calculer le diamètre moyen;
- exclure les arbres dont le diamètre est inférieur à 17.50 cm;
- considérer séparément les arbres morts des arbres vivants;
- trier les arbres selon le protocole d'inventaire mis au point par l'Observatoire forestier de Savoie. D'après ce protocole, les bois morts au-delà du cercle de 15 m ne sont pas pris en compte. De plus, les arbres sont comptabilisés si "Diam 1 / 3 \geq Distance horizontale".

Le tableau a été trié de telle sorte à ne garder que les données utiles à l'étude. Ainsi, les 33 essences de départ ont donc été regroupées en feuillus et résineux . De plus, près de la moitié des arbres ont été exclus suivant le protocole d'inventaire.

5.2. Calcul des paramètres forestiers et topographiques

Le MNT a fourni les caractéristiques topographiques de la zone d'étude à savoir l'altitude et la pente. Par ailleurs, pour caractériser la structure de la forêt, la distribution des essences a été déterminée et les paramètres densité, surface terrière et diamètre moyen ont été calculés à l'échelle de l'individu puis de la placette.

5.3. Calcul de la biomasse et du stock de carbone

Afin d'obtenir la biomasse des arbres, le volume marchand a été d'abord calculé à partir d'un tarif algan utilisant le diamètre et un coefficient algan (Equation 1). Les coefficients 6 et 10 ont été appliqués respectivement aux feuillus et aux résineux. Ensuite, le volume de bois marchand a été converti en volume total de biomasse avec un coefficient de conversion : 0.7 pour les feuillus et 0.8 pour les résineux en considérant que le volume de bois marchand est respectivement 70% et 80% du volume total pour les feuillus et les résineux. Puis, la biomasse sèche a été trouvée en utilisant un coefficient de 600 pour les feuillus et 500 pour les résineux. Enfin, le stock de carbone a été déduit en convertissant la biomasse en équivalent carbone sachant que le stock de carbone représente généralement 50% de la biomasse de l'arbre.

$$\text{Volume marchand} = (8 + \text{algan}) / 28 * (0.312384 - 4.51338 * (d / 100) + 23.8866 * (d / 100)^2 - 2.89769 * (d / 100)^3)$$

Equation 1 : Equation du volume marchand d'un arbre à partir du tarif algan et du diamètre

5.4. Analyse statistique

- Analyse descriptive

Le tableau contenant les valeurs de biomasse et de carbone, les essences et l'état de l'arbre a été fusionné avec les couches géographiques du type de propriété (forêt publique ou privée), de l'altitude puis de la pente. Ce qui a permis d'avoir ces variables pour chaque arbre. La jointure a permis de fusionner toutes ces informations dans un même objet grâce aux coordonnées des placettes et à leur code identifiant. Pour mieux explorer le tableau fusionné, les statistiques descriptives des variables ont été calculées avec la fonction `describe` du package `prettyR` et la fonction `summary`. Ensuite, les distributions des variables ont été visualisées avec des histogrammes pour les variables quantitatives et avec des boîtes à moustaches pour celles catégorielles.

- Tests statistiques

Des tests de normalité puis de significativité ont été effectués pour déterminer si la biomasse diffère significativement entre les types d'essence (Feuillus/Résineux) et le type de propriété (Privé/Public). De plus, une analyse du niveau de corrélation a été entreprise pour évaluer la relation linéaire entre les variables topographiques (altitude, pente) et la biomasse. Pour cela, des nuages de points ont été utilisés pour visualiser la relation entre la biomasse et l'altitude, ainsi qu'entre la biomasse et la pente et une droite de régression linéaire a été ajoutée pour mieux apprécier la tendance générale. Des tests de corrélation ont aussi été réalisés pour quantifier les relations entre les variables.

- Modélisation statistique

En outre, afin d'étudier l'effet combiné de toutes les variables (essence, statut, propriété, altitude, pente) sur la biomasse, une régression linéaire multiple a été utilisée. Cela a permis de quantifier l'importance relative de chaque facteur.

5.5. Cartographie

Les données de biomasse/carbone ainsi que les caractéristiques topographiques et forestières ont été représentées spatialement à l'aide d'une carte interactive regroupant toutes les couches. Les packages `Leaflet`, `SF` et `Terra` ont été utilisés à cette fin.

6. Résultats

Cette section présente les caractéristiques du peuplement ainsi que les valeurs de biomasse et de séquestration de carbone ([Figure 2](#)). Ces résultats sont représentés au moyen d'une carte interactive accessible via ce [lien](#) (à télécharger pour lecture correcte). Une analyse statistique est également effectuée pour étudier les corrélations entre les paramètres et appliquer une régression linéaire multiple aux facteurs.

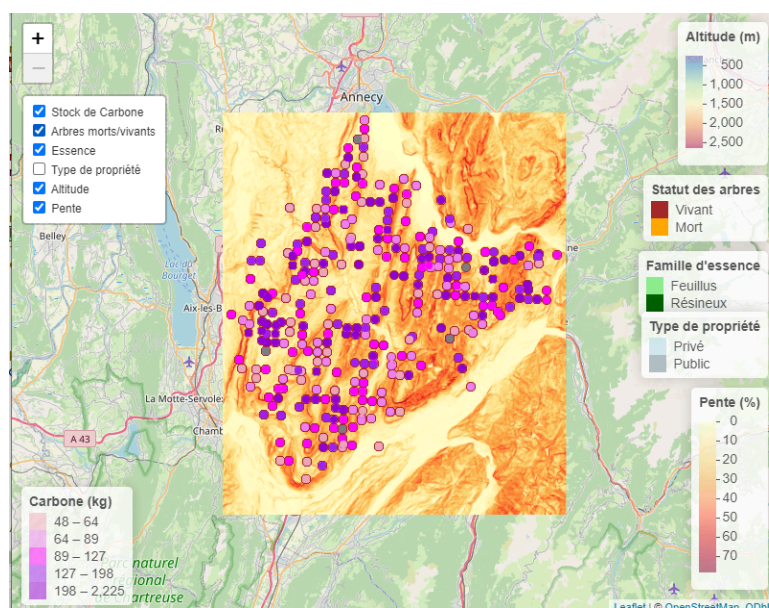


Figure 2 : Carte interactive résumant les résultats de l'étude

6.1. Caractéristiques forestières et topographiques

Le PNR du massif des Bauges abrite environ 7 522 arbres répartis en 33 essences différentes, les essences dominantes étant dans l'ordre le hêtraie, l'épicéa et le sapin. Le peuplement est donc constitué majoritairement de feuillus, soit 67 %. En outre, en prenant en compte que les arbres vivants, la surface terrière totale est de 192.72 m²/ha. Le diamètre moyen des arbres vivants est de 24.58 cm alors que celui des arbres morts vaut presque le double soit 42.51 cm. Par ailleurs, les arbres inventoriés au PNR du massif des Bauges sont situés de 280 à 1768 mètres d'altitude alors que la pente varie de 0 à 53%. En ce qui a trait au type de propriété, 58 % des individus sont situés dans des forêts privées.

6.2. Biomasse et stock de carbone

La teneur totale en carbone du peuplement s'élève à 592 tonnes. En effet, les arbres contiennent 47.92 à 2224.90 kg de carbone. Cependant, la moitié des arbres ont une masse de carbone inférieure à 100 kg. De même, 50% des arbres ont une biomasse autour de 200 kg pour des valeurs variant de 95.84 kg à 4449.80 kg. La biomasse sèche du peuplement est de 1184 tonnes.

6.3. Influence des facteurs sur la biomasse

Les résineux présentent une biomasse généralement plus élevée et plus dispersée que les feuillus. La Figure 3 montre effectivement que la plupart des arbres ont une biomasse inférieure à 600 kg pour les résineux et inférieure à 400 kg pour les feuillus. Une distribution asymétrique est remarquée pour les deux groupes d'essence avec de nombreuses valeurs aberrantes. De plus, un test de shapiro renvoie une valeur de p largement inférieure à 0,05. On conclut alors que les données de biomasse ne suivent pas une distribution normale. Le test de Mann-Whitney a donc été effectué, il en résulte une valeur de $p < 2.2 * 10^{-16}$, ce qui indique une différence significative entre les médianes des biomasses des feuillus et des résineux. Tandis que pour les types de propriété, la dispersion des valeurs de biomasse est

globalement pareille entre les forêts privées et celles publiques avec une médiane égale à 200 kg pour les deux types de propriété (Figure 4). Les données n'étant pas normales, une valeur p de 0,58 du test de Mann-Whitney confirme qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative.

En ce qui concerne l'état de l'arbre, il y a une différence hautement significative entre la médiane des arbres morts et celle des arbres vivants avec une valeur $p < 2.2 * 10^{-16}$ obtenu avec le test de Mann-Whitney. Les deux groupes ne présentent donc pas une distribution normale (Figure 5) avec une biomasse médiane de 202 kg pour les arbres vivants contre 758 kg pour les arbres morts.

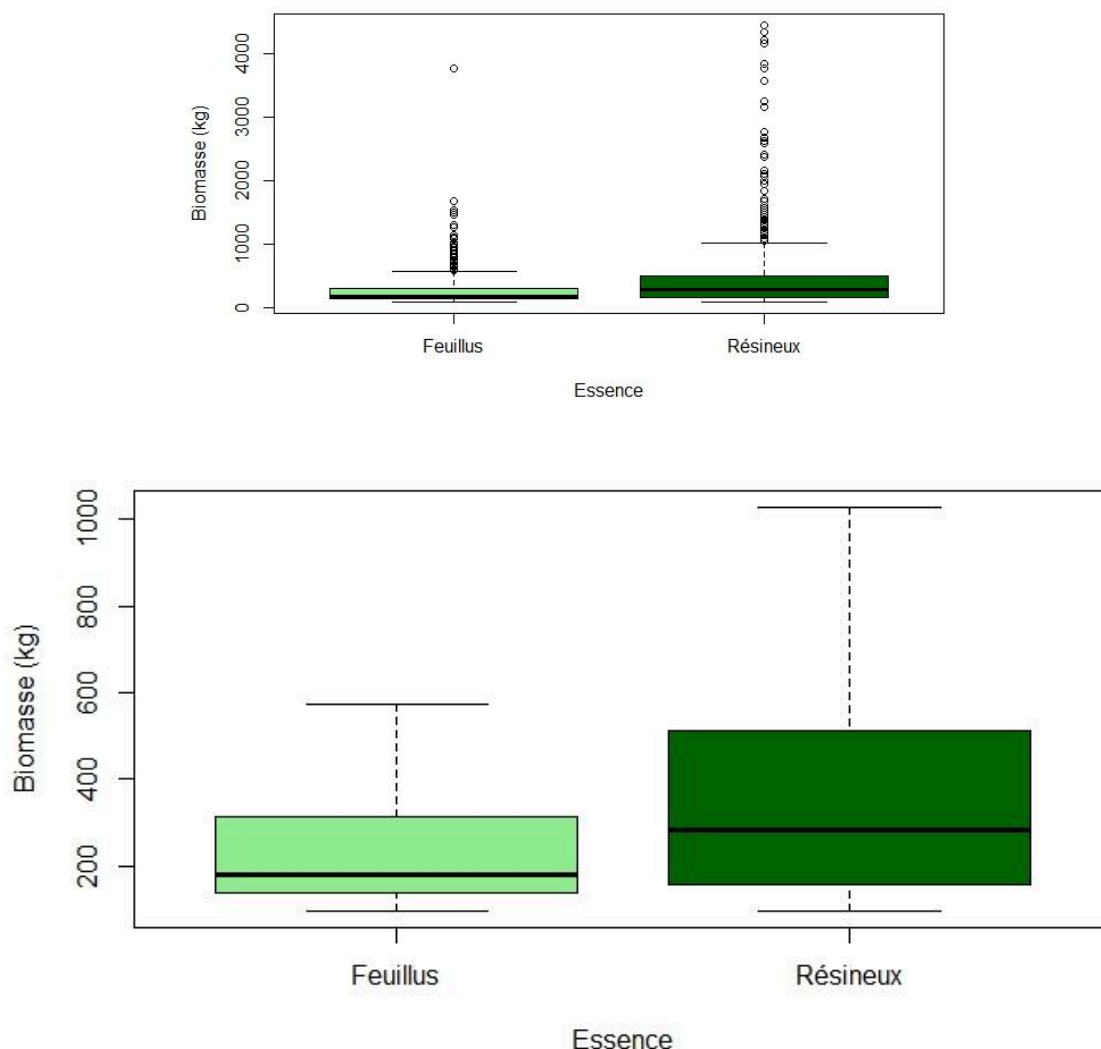


Figure 3 : Répartition de la biomasse des arbres du PNR du massif des Bauges en fonction de l'essence regroupée en deux catégories : feuillus et résineux.

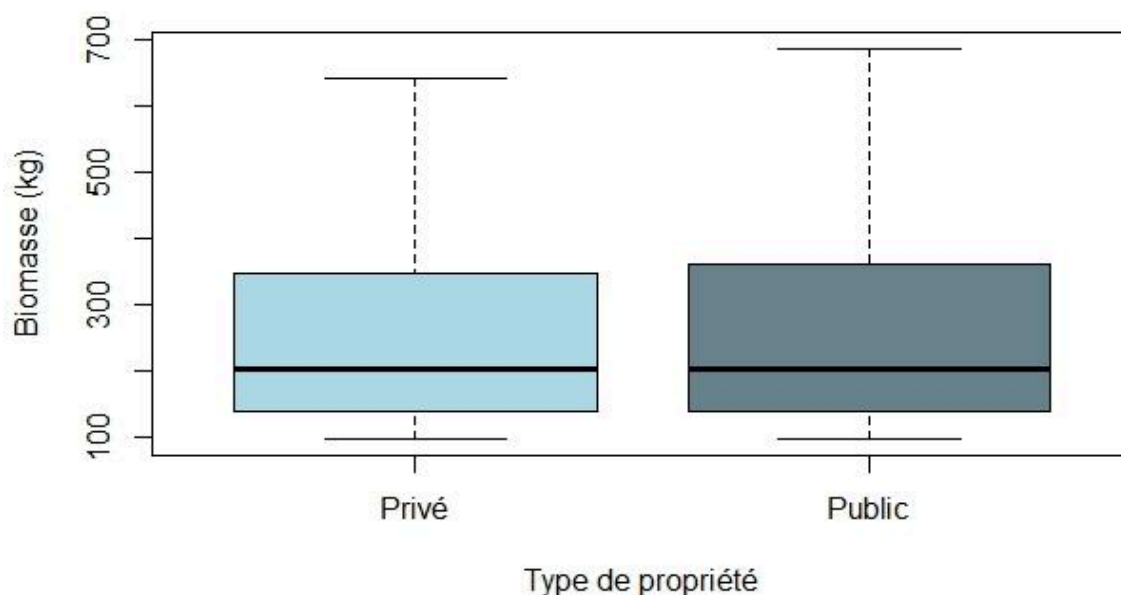


Figure 4 : Répartition de la biomasse des arbres du PNR du massif des Bauges en fonction du type propriété : public et privé

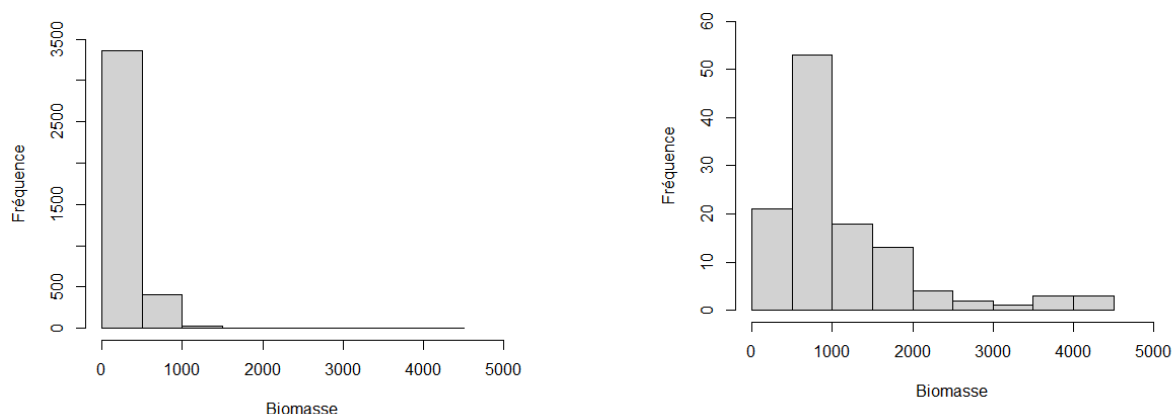


Figure 5: Histogramme de fréquence de la biomasse des bois vivants (à gauche) et des bois morts (à droite)

Par ailleurs, vu la dispersion des valeurs de pente et d'altitude (Figure 6), il n'existe pas de relation linéaire claire entre la pente et la biomasse ni entre l'altitude et la biomasse. Il y a au contraire une grande variabilité de la biomasse pour toutes les valeurs de pente et d'altitude. Les droites de régression linéaire, n'indiquent plus de relation entre les variables de manière significative. Le test de corrélation de Pearson confirme ces observations puisque le coefficient de corrélation de la biomasse est de 0.014 avec la pente et 0.043 avec l'altitude.

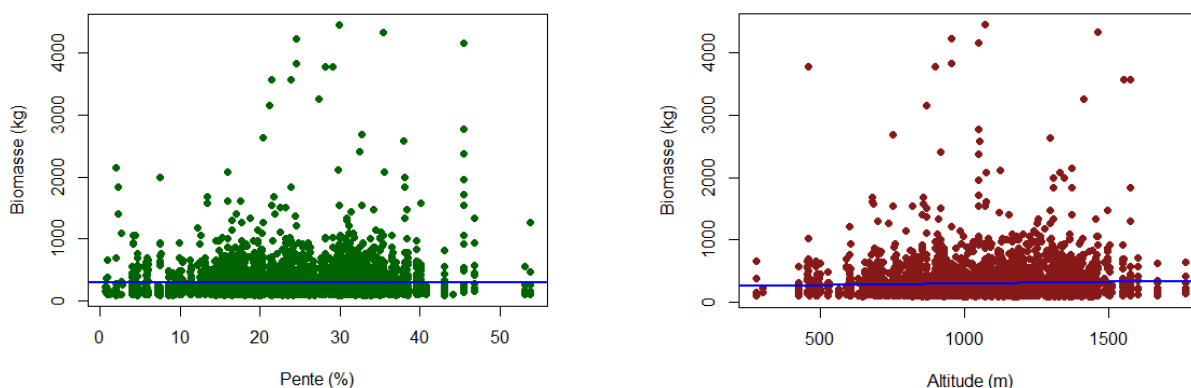


Figure 6 : Corrélation entre la biomasse et la pente (à gauche) et l'altitude (à droite).

Enfin, un modèle de régression linéaire multiple a été utilisé pour quantifier l'impact de l'ensemble des facteurs (feuillus/résineux, bois mort/vivant, public/privé, pente et altitude) sur la biomasse. Le modèle révèle des effets significatifs de la famille d'essence, de l'état de l'arbre et de la pente sur la biomasse. Une p -value inférieure à 2.2×10^{-16} pour les deux premières variables et de 0.000449 pour la pente témoignent que le modèle est statistiquement significatif dans son ensemble. Cependant, une faible proportion de la variance est observée. Le R^2 est autour de 0.24, ce qui signifie que le modèle explique environ 24% de la variance observée dans la biomasse. Les 76% restants sont dus à d'autres facteurs non inclus dans le modèle, ou encore à la variabilité naturelle. C'est pourquoi le diamètre a été ajouté afin d'éviter la multicollinéarité. L'ajout du diamètre a permis de mieux répartir la variance et d'obtenir des coefficients plus fiables. Il en ressort un modèle encore plus significatif avec une valeur R^2 de 0.89, donc une prédiction plus précise. Les résultats du modèle résumé à travers l'Equation 2 indique que/qu' :

- la biomasse augmente en moyenne de 39.95 kg par cm de diamètre,
- un arbre vivant a en moyenne 131.68 kg de biomasse en moins qu'un arbre mort,
- les résineux ont en moyenne 7.78 kg de biomasse en moins que les feuillus.

Dans ce même ordre d'idées, déterminer le stock de carbone directement à partir du diamètre peut se faire grâce à l'Equation 3.

$$\text{Biomasse} = -572.42 + (39.95 \times \text{diamètre}) - (131.68 \times \text{état}) - (7.78 \times \text{essence})$$

Equation 2 : Equation de la biomasse en fonction du diamètre, de l'état de l'arbre et de l'essence (avec état = 1 si l'arbre est vivant et 0 si l'arbre est mort ; et essence = 1 si l'arbre est un résineux et 0 si l'arbre est un feuillu).

$$\text{Carbone} = -286.21 + (19.98 \times \text{diamètre}) - (65.84 \times \text{état}) - (3.89 \times \text{essence})$$

Equation 3 : Evaluation de la séquestration de carbone directement avec le diamètre, l'état de l'arbre et l'essence (pour état = 1 si l'arbre est vivant et 0 si l'arbre est mort ; et essence = 1 si l'arbre est un résineux et 0 si l'arbre est un feuillu).

7. Discussion

La représentation de la distribution de la biomasse en fonction de l'essence (feuillus/résineux) permet d'observer un nombre important de valeurs aberrantes pour les deux catégories. Ces valeurs extrêmes très élevées soulignent que les mesures ont été effectuées au sein d'un peuplement inéquienne dans lequel la majorité des arbres est jeune et des arbres très matures assurent probablement la régénération. Il peut aussi s'agir d'un peuplement exploité par rotation. Toutefois, il n'y a pas de différence dans la distribution des valeurs aberrantes entre les deux types de propriété. Autrement, ce serait une différence dans les conditions d'exploitation entre forêts privées et publiques. Les arbres avec les masses de bois les plus élevées n'appartiennent pas non plus à des espèces particulières, ils sont tous des épicéas et des sapins pour les résineux et des hêtraies pour les feuillus. Du point de vue de l'état de l'arbre, la nette différence entre la biomasse des arbres morts et vivants suppose qu'ils sont morts vieux et donc avec un grand diamètre puisque la majorité des arbres morts ont une biomasse supérieure à 500 kg.

La modélisation de la biomasse et du carbone reste très précise. Toutefois, ce travail nécessite plus de variables explicatives physiques et pédo-climatiques pour être amélioré car ces facteurs peuvent influencer considérablement la biomasse et la séquestration de carbone. L'âge des arbres serait également une variable intéressante pour déterminer un modèle plus précis. De surcroît, il faut noter que les coefficients de conversion du volume marchand en biomasse totale puis en biomasse sèche sont assez subjectifs et méritent d'être plus précis. Enfin, dans le calcul de la biomasse et du carbone, le bois mort au sol n'est pas pris en compte.

8. Conclusion

Face à l'urgence climatique, les forêts sont d'une importance capitale, de par leur rôle de puits de carbone naturels. Comprendre et quantifier leur capacité de stockage se révèle donc crucial pour leur gestion. Cette étude a permis de quantifier et de représenter spatialement la biomasse totale ainsi que le stock de carbone du PNR du massif des Bauges. Il en ressort que ce parc détient un stock de 592 tonnes de carbone pour une biomasse de 1184 tonnes.

Cette étude met aussi en évidence l'influence des caractéristiques environnementales et foncières sur la biomasse et le stockage de carbone. Ainsi, un modèle de régression linéaire multiple, d'une précision de 0.89, a été construit avec le diamètre, l'état de l'arbre (vivant/mort) et l'essence (résineux/feuillus). D'après ce modèle, la biomasse augmente en moyenne de 39.95 kg par cm de diamètre, un arbre vivant a en moyenne 131.68 kg de biomasse en moins qu'un arbre mort et les résineux ont en moyenne 7.78 kg de biomasse en moins que les feuillus. Sachant que le diamètre est la variable clé, pour un arbre mort et feuillu, la biomasse suit une relation linéaire directe avec le diamètre. Le type de propriété, l'altitude et la pente n'ont cependant pas d'influence significative sur la biomasse et le stockage de carbone.

Pour améliorer cette étude, d'autres pistes peuvent être explorées tels que l'intégration de l'âge des individus inventoriés et des variables physico-pédologiques et climatiques. Par

ailleurs, des études d'évolution du stock de carbone sur plusieurs années pourront être faites pour mieux comprendre les dynamiques de croissance. Cette étude pourrait également utiliser la télédétection qui s'avère très importante dans l'étude à distance des peuplements.

Bibliographie

Bellom, Aubéline. (2029) « Prospective territoriale et gestion forestière durable: analyse des facteurs influençant le développement forestier sur le territoire du PNR du massif des Bauges ». Mémoire de Master 2 SHS, IUGA. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02485537/document>

Bainville, S. (2012). Forêts et humains : Une communauté de destins. Pièges et opportunités de l'économie verte pour le développement durable et l'éradication de la pauvreté : étude complète (Afrique). IEPF. pp 9-32. <https://agritrop.cirad.fr/566534/>

Cordonnier, T., Berger, F., Chauvin, C., Courbaud, B., Fuhr, M., Tenerelli, P., Lafond, V., Luque, S., & Mao, Z. (2016). Modéliser et quantifier les services écosystémiques forestiers à l'échelle des petits territoires. *Sciences Eaux & Territoires*, 21, 58-63. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2016.21.10>

Djaouga, M., Karimou, R. M., & Mama, A. (2021). *Cartographie de la biomasse forestière et évaluation du carbone séquestré dans la forêt classée de l'Ouémé supérieur au Centre-Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(6), 2388-2401. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.22>

FAO (1996). Tendances et perspectives du bois en Europe à l'aube du xxie siècle. « Chapitre 5 Facteurs externes exerçant une influence sur le secteur ». Études de Genève sur le bois et la forêt N° 11. Consulté le 17 février 2025, à l'adresse <https://www.fao.org/4/x6829f/X6829F00.htm#TOC>

Nzeta Kenne, V. (2019). *Évaluation spatialisée des services écosystémiques forestiers sur le PNR du Massif des Bauges* (Mémoire de master, Université de Lorraine). Consulté à l'adresse <https://hal.inrae.fr/hal-03677959>

PNR du Massif des Bauges. (2025). « Le Massif des Bauges : un patrimoine naturel et culturel riche ». Consulté le 12 février 2025 à l'adresse <https://parcdesbauges.com/patrimoines-remarquables/>

Contributions des auteurs

Activités/Parties	Auteure/es
Code R	Jeanet FILS
Rédaction	Jeanet FILS et Aku-Demawu AWUNO
Mise en forme	Jeanet FILS et Aku-Demawu AWUNO
Réalisation de la carte de présentation/localisation	Aku-Demawu AWUNO
Réalisation de figures	Jeanet FILS
Analyse des résultats	Jeanet FILS